

244

高职高专机械类专业系列丛书

71-1-43
747

机械设计

主 编 吕慧瑛
主 审 郑志祥

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

本书根据《机械设计》教学基本要求及目前教学改革的发展需要而编写。全书共分十一章,包括:绪论、平面机构的结构分析、平面连杆机构及传动、凸轮机构、齿轮机构、蜗杆传动、齿轮系、通用零件及其他常用机构、轴和轴系零件、机械的平衡与调速以及机械系统方案设计。各章备有一定数量的习题,以便选用。

本书贯彻了最新的国家标准,面对高职、高专学生工作的现状与未来,本书强调了复合性、实用性和先进性,具有较强的针对性。

本书可作为高等工程专科学校或职业大学机械类与近机类学生机械设计(机械原理和机械零件)及机械设计基础教学用书,也可作为职工大学、成人高校等教学用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/吕慧瑛主编. —南京:东南大学出版社,
2001.6

(高职高专机械类专业系列丛书)

ISBN 7-81050-672-2

I.机... II.吕... III.机械设计—高等学校:技
术学校—教材 IV.TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 042107 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京化工大学印刷厂印刷
开本:787mm×1098mm 1/16 印张:15.5 字数:385 千字

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

印数:1-4000 册 本册定价:28.00 元

(全套总定价:276.00 元)

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3792327)

出版说明

科教兴国,教育先行。当前,高等教育正处在深化改革阶段,高等职业教育也迎来了新的迅猛发展时期。高等职业教育是在具有高中文化水平的基础上,为生产、建设、管理、服务等第一线培养高级实用型技术人才和管理人才的专门教育。根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》,各高职高专学校都对本校的教学计划、课程体系、教学内容作了相应的调整。根据突出应用性、实践性的原则重组了课程结构,教学内容上突出了基础理论教学以应用为目的,以必须、够用为度;专业课教学加强了针对性和实用性。因为高职教育的人才培养目标和规格不同于普通高等教育,因而其教材应具有高职教育的基本特点。目前高等职业教育的教材建设已经成为一个亟待解决的共性问题。在东南大学出版社的支持下,苏州职业大学、常熟高等专科学校、常州工学院、南京工业职业技术学院等学校中的一批有扎实理论基础和丰富实践经验的教师,怀着强烈的责任感和极大的热情编写了一批相应的配套教材,他们具有较强的教学改革意识,决心为高职高专事业的发展作出一些贡献。

本丛书由东南大学博士生导师林萍华教授、博士生导师易红教授担任主审。

这批教材将分期分批出版,第一辑出版的教材有:

- 机械工程基础
- 机械制造技术
- 机械设计
- 现代质量管理概论
- 现代制造技术
- 机械设备控制技术
 - (1) 机械设备液压气动控制技术
 - (2) 数控技术
- 测试技术
- 工程力学
- 工程数学
- 机械制图

限于水平和经验,加之时间匆促,这批教材还会有不足之处,诚望使用本教材的教师和学生能积极提出批评和建议,以便再版时改进。

高职高专机械类专业系列丛书 编委会

2000年8月

高职高专机械类专业系列丛书(第一辑)

编审委员会

主任委员 林萍华 易 红

副主任委员 (按姓氏笔划为序)

郑志祥 缪协兴

委 员 (按姓氏笔划为序)

王培羲 孙序泉 余瑞芬 严苏砣

陈家瑾 郑志祥 林萍华 袁雪枚

韩玉启 缪协兴

责任编辑 李 玉 朱经邦

编写委员会

主 编 姜 左

副主编 (按姓氏笔划为序)

丁加军 吕慧瑛 李江蛟 林朝平

程宜康

委 员 (按姓氏笔划为序)

丁加军 王伟麟 吕慧瑛 沈中城

李江蛟 吴永祥 陈雪芳 林朝平

姜 左 徐冉冉 陶亦亦 程宜康

魏宣燕

前 言

本书根据《机械设计》教学基本要求以及目前教学改革的发展需要而编写。本书有机地融合了《机械原理》和《机械零件》课程的内容,并且讨论了典型零件的公差与配合,使学生对零件的设计从材料、结构、受力分析、精度等有全面的认识。所需的尺寸公差的基础,已在《机械工程基础》一书中详细地讨论了,为了适应计算机应用的发展,本教材中解析法的内容有所增加。考虑到高职学生未来工作岗位的需求,本教材强化了结构设计,淡化了受力分析,使之更适应高职、高专学生的工作现状与未来。本书突出了以培养应用型技术人材为目标,教材中贯彻了复合性、实用性和先进性,具有较强的针对性。本教材可供高职、高专机械类和近机类专业学生使用。参考学时为 90~110 学时。

参加本书编写的有:苏州职业大学吕慧瑛老师(第 1、2、3、4 章、第 5 章第 1、2、3、4、5、6、7、9 节和第 7、11 章),苏州职业大学魏宣燕老师(第 5 章第 8、10、11、12、14 节,第 6 章,第 8 章第 3、4、5 节,第 9、10 章),常熟高等专科学校徐学忠老师(第 5 章第 13 节,第 8 章第 1、2 节)。全书由吕慧瑛老师担任主编,并负责全书的统稿,魏宣燕老师任副主编,苏州职业大学郑志祥教授担任主审。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者
2001 年 2 月

目 录

1 绪论	1
1.1 机械设计研究的对象	1
1.2 机械设计的基本要求与步骤	2
1.3 机械设计方法的新发展	3
1.4 本课程的内容、性质和任务	4
2 平面机构的结构分析	6
2.1 机构的组成	6
2.2 平面机构运动简图	8
2.3 平面机构自由度	10
2.4 平面机构组成原理和结构分析	13
3 平面连杆机构	19
3.1 概述	19
3.2 平面连杆机构基本形式及其演化	19
3.3 平面连杆机构基本特性	24
3.4 平面连杆机构的运动分析	28
3.5 平面四杆机构的设计	31
4 凸轮机构	38
4.1 凸轮机构的应用和分类	38
4.2 从动件基本运动规律	40
4.3 凸轮轮廓曲线设计	44
4.4 凸轮机构基本尺寸的确定	47
5 齿轮机构及传动	52
5.1 齿轮传动基本类型	52
5.2 渐开线及其特性	53
5.3 渐开线齿廓啮合特点	56
5.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸	57
5.5 渐开线直齿圆柱齿轮啮合传动	59
5.6 渐开线齿轮的切削加工及根切现象	62
5.7 变位齿轮传动	65
5.8 平行轴斜齿圆柱齿轮机构	68
5.9 渐开线圆柱齿轮传动精度	71
5.10 齿轮传动的失效形式和常用材料	76
5.11 渐开线标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	81
5.12 平行轴标准斜齿圆柱齿轮的强度计算	87

5.13	直齿圆锥齿轮传动	93
5.14	齿轮的结构和齿轮传动润滑	97
	附录	99
6	蜗杆传动	106
6.1	蜗杆传动的特点和类型	106
6.2	蜗杆蜗轮机构	108
6.3	蜗杆传动的失效形式和常用材料	111
6.4	蜗杆传动的强度和刚度计算	112
6.5	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	115
6.6	蜗杆和蜗轮的结构	119
7	齿轮系	121
7.1	齿轮系及其分类	121
7.2	定轴齿轮系传动比的计算	122
7.3	行星齿轮系传动比的计算	123
7.4	组合行星齿轮系传动比的计算	125
7.5	齿轮系的应用	126
7.6	行星齿轮系设计简述	129
8	通用零件及其他常用机构	133
8.1	带传动	133
8.2	链传动	148
8.3	间歇运动机构	157
8.4	螺纹联接	160
8.5	联轴器及离合器	171
	附录	177
9	轴和轴系零件	180
9.1	概述	180
9.2	滚动轴承的组成、类型及特点	182
9.3	滚动轴承的代号及类型选择	184
9.4	滚动轴承的工作情况分析 & 计算	189
9.5	滚动轴承的选择	195
9.6	轴与轴系的结构设计	199
9.7	轴的强度计算	205
9.8	轴毂联接	209
9.9	滑动轴承概述	212
9.10	滚动轴承和滑动轴承的选用	217
10	机械的平衡与调速	220
10.1	机械平衡的目的与分类	220
10.2	刚性回转件的平衡	221
10.3	机械运转速度波动的调节	224

11 机械系统方案设计	227
11.1 常用执行机构、传动机构性能比较	227
11.2 机械运动方案设计	229
11.3 执行机构的协调设计和运动循环图	231
11.4 机械设计实例	233
参考文献	237

1.1 机械设计研究的对象

机械设计研究的对象是机械,机械是机器和机构的总称。

人们在生产、生活中广泛使用着各类机器。如图 1-1 所示的单缸内燃机,它由气缸体 1,活塞 2,进、排气阀 3、4,连杆 5,曲轴 6,凸轮 7,顶杆 8,齿轮 9 和 10 等组成。燃气在缸内通过进气—压缩—爆发—排气的过程,使燃气燃烧产生的热能转变成曲轴转动的机械能。又如图 1-2 所示的单轴六角自动车床,装在分配轴 z 上的凸轮 1、2、3 分别推动摆杆 4、5、6 在一定范围内摆动,摆杆又通过齿轮—齿条或通过连杆再带动齿轮—齿条传动,从而驱动前(A)、后(B)、立(C)三个刀架协调动作完成切削功能。

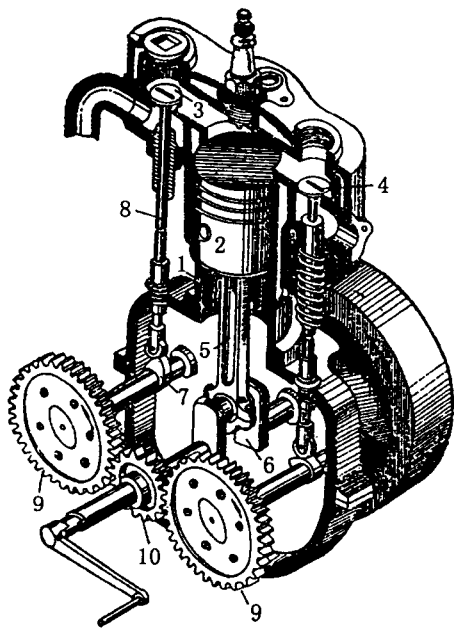


图 1-1 单缸内燃机

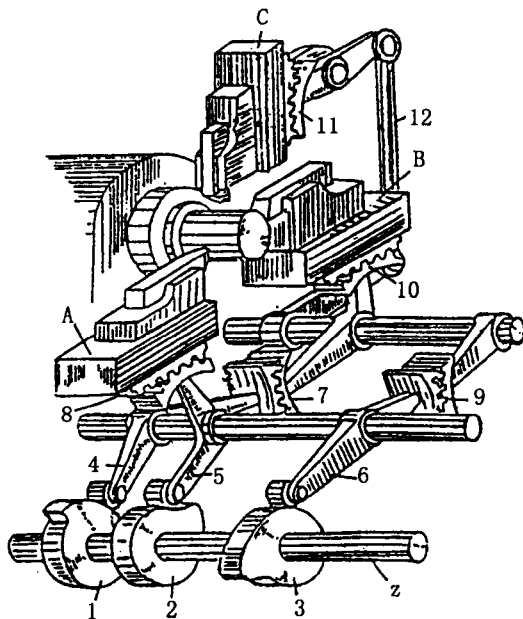


图 1-2 单轴六角自动车床

内燃机和车床都叫机器,机器的种类多种多样,它们的结构、用途各不相同,但它们都是由各种机构组合而成的。

机构是实现运动的传递或变换的系统,如内燃机中的齿轮 9 和 10 组成的齿轮机构将曲轴的转动传给凸轮轴并可改变转速的大小和方向;由缸体、活塞、连杆、曲轴组成的连杆机构将活塞的移动转换成曲轴的转动;由凸轮、顶杆组成的凸轮机构将凸轮的转动转换成顶杆的移动。而由一个或多个机构组成的机器不仅能变换运动,还能变换机械能(如内燃机)或

完成有用的功(如自动车床)。但从结构和运动观点来看,机器和机构并无差别,工程上统称“机械”。

随着科学技术的发展,机械的含义已突破了传统的概念,它不仅能传递运动和动力,而且能传递信息;不仅能代替人的体力劳动,还能代替人的脑力劳动,如记账机、电子计算机等。机构也不仅仅由刚体组成,气体或液体也可参与运动的传递或变化。

机械中不可拆卸的基本单元称为零件,如齿轮、轴、凸轮等,它是制造的单元体。机械中的运动单元称为构件,它可以是一个零件,也可以由几个无相对运动的零件组成,如连杆由连杆头、连杆体、螺栓和螺母等组成,如图 1-3 所示。机械中由若干个零件装配而成能完成特定任务的一个独立组成部分叫部件,它可以是一个构件如连杆,也可以由多个构件组成,如轴承、联轴器等。若干个部件根据功能又可组成机器的原动部分、传动部分、执行部分及控制部分,从而组成一台完整的机器。

机器的种类异常繁多,但组成机器的机构种类却是有限的,因此,以各种机械中的常用机构如连杆机构、齿轮机构、凸轮机构等以及通用零部件(如螺钉、齿轮、皮带、轴承等)作为研究对象建立分析及设计的一般方法,可为各类具体机器的研究打下基础。

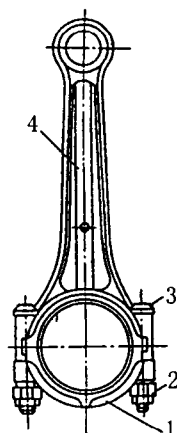


图 1-3 连杆
1—连杆头;2—螺母;
3—螺栓;4—连杆体

1.2 机械设计的基本要求与步骤

1.2.1 设计机械应满足的基本要求

1) 设计机器应满足的基本要求

机器的种类很多,但设计机器应满足的基本要求大致相同。主要有以下几点:

- (1) 功能性要求 要使机器能实现预期的功能,并在预定的工作期内有效可靠地运行。
- (2) 经济性要求 要使机器的设计、制造、使用和维护的费用少且效率高。
- (3) 使用性能要求 要使设计的机器操作方便、省力、安全、可靠。
- (4) 其他要求 设计的机器应便于安装、运输、拆卸,要考虑环境保护等。

2) 设计机械零件应满足的基本要求

机器是由零件组成的,要使机器能满足上述要求,则机械零件应满足以下要求:

- (1) 寿命要求 寿命指零件正常工作的期限。设计零件时要从承载能力出发,保证零件具有足够的强度和刚度以抵抗可能出现的失效。
- (2) 经济性要求 设计零件时应具有经济性观点,力求综合经济效益高。为此,要注意
① 合理选择材料,降低材料费用;② 零件的结构要具有良好的工艺性,减少制造费用;③ 尽量符合标准化、通用化,简化设计,降低成本。
- (3) 社会环境要求 设计零件时还要考虑节约资源、保护环境。要使零件具有可拆卸性,材料可回收性,尽量做到绿式设计。

1.2.2 设计机械的一般步骤

机械设计总体上可分以下四个步骤:

1) 确定设计任务

根据市场用户的要求确定机械的功能和各项性能指标,研究实现的可能性,最后确定设计目标,编制设计任务书。

2) 方案设计

根据设计目标确定机械的工作原理、传动路线,拟定合理的运动方案,完成机械运动简图设计。

3) 技术设计

根据机械运动简图,通过分析、计算,确定机械的总体结构,并进一步设计出相应的零部件,绘制零件工作图,编制必需的技术文件。

4) 改进设计

设计的结果能否达到预期的目标必须经过试制与鉴定,并进行必要的修改和完善以致产品达到设计要求,提高它的使用寿命。

1.3 机械设计方法的新发展

随着科学技术的迅猛发展,计算机技术渗透各个领域,机械设计方法也从传统设计方法向现代设计方法发展。传统设计方法是静态的、经验的、手工式的;而现代设计方法是动态的、科学的、计算机化的。现代设计方法是科学方法论在设计中的应用,它包含许多方面,如信息论方法,它是现代设计的依据;系统论方法,它是现代设计的前提;动态分析法,它是现代设计的深化;优化论方法,它是现代设计的目标;相似模拟法,它是现代设计的捷径;智能论方法,它是现代设计的核心;模糊论方法,它是现代设计的发展;创造性设计法,它是现代设计的基础等等。在具体的设计阶段中,又采用了各种相应的现代设计技术,下面简单介绍几种近几十年来发展较快、应用较广的机械设计新方法。

1) 优化设计

优化设计是使某项设计在规定的限制条件下,优选设计参数,使某项或某几项设计指标获得最优值。它的具体做法是将设计问题的物理模型转变成数学模型,将设计中要确定的参数选为设计变量,将设计中必须要满足的条件作为约束条件,将设计所要求的指标列为目标函数,写出目标函数、约束条件与设计变量之间的函数关系,然后选用适当的最优化方法,在计算机上求解数学模型。它可以在众多的设计方案中自动择优,从而获得理想的结果。

2) 可靠性设计

可靠性设计是可靠性工程学的重要组成部分,它把随机方法应用于工程设计中,能有效提高产品的设计水平和质量,降低产品的成本。在可靠性设计中,将载荷、材料性能与强度、零部件尺寸等都看成属于某种概率分布的统计量,应用概率统计理论及强度理论,求出在给定条件下零部件不产生破坏的概率公式,进而设计出满足可靠性指标的零部件的尺寸。

可靠性预测也是可靠性设计的重要内容之一,它在设计阶段即从所得的失效率数据预报零部件和系统实际可能达到的可靠度,预报这些零部件和系统在规定的条件下和规定的

时间内完成规定功能的概率。

可靠性设计的另一重要内容是可靠性的分配,它将系统规定的容许失效概率合理地分配给该系统的零部件,以期获得合理的系统设计。

3) 计算机辅助设计

计算机辅助设计是利用计算机硬件、软件系统辅助人们对产品或工程进行设计的一种方法和技术。它是一门多学科综合应用的新技术,包括:图形处理技术、工程分析技术、数据管理与数据交换技术、图文档案处理技术、软件设计技术等。它可以有效地与产品开发的下游工作(CAM、CAPP、CAE、CAT等)结合形成计算机集成制造系统。

4) 并行设计

并行设计是并行工程的核心。1988年美国防御分析研究院定义“并行工程是对产品设计及其相关过程(包括设计过程、制造过程和支持过程)进行并行、一体化设计的一种系统化的工作模式。这种工作模式力图使开发者一开始就考虑到产品全生命周期中的所有因素,包括质量、成本、进度与用户要求。”并行设计的内容包括:

(1) 过程重构 由传统的串行产品开发模式转变成集成的、并行的产品开发模式,使下游设计过程上的需求及早地反馈给相应过程中;

(2) 数字化产品定义 包括数字化产品模型定义和管理、数字化过程定义和管理、数字化工具定义和信息集成;

(3) 产品开发队伍重构 将传统的以功能部门为主线的产品设计,改变为以产品为主线,组织多功能集成产品开发团队,进行产品并行开发;

(4) 协同工作环境 利用多媒体、网络等技术组织协调工作环境,支持并行设计。

现代设计方法还有许多内容,本书第11章用到的功能原理解法也是系统分析法的一种,这里不作介绍了。

1.4 本课程的内容、性质和任务

机械在国民经济建设和发展中起着十分重要的作用。本课程研究的对象就是机械中的常用机构和通用零部件,研究它们的工作原理、结构特点、运动和动力性能、基本设计理论、计算方法以及一些零部件的选用和维护。这是一门技术基础课,它综合运用高等数学、工程力学、工程材料、机械制图、机械基础等基础知识,解决常用机构和通用零部件的分析和设计问题。

通过本课程的学习,要求学生掌握机构的结构分析、运动分析和动力分析的基本理论和方法,具有设计常用机构的能力;掌握通用零件的设计方法,初步具备设计机械传动装置的能力;具有查阅及运用资料手册的能力;并获得实验技能的初步训练。总之,本课程是理论性和实践性都很强的机械类及近机类专业的主干课之一,具有承上启下的作用,是机械工程师和机械管理工程师的必修课程。

思考题与习题

- 1 - 1 什么叫零件?什么叫构件?什么叫部件?
- 1 - 2 什么是机构?什么是机器?
- 1 - 3 设计机器要满足哪些要求?设计机械零件要满足哪些要求?
- 1 - 4 如何学好本课程?

2.1 机构的组成

2.1.1 运动副

两个构件直接接触,并能产生一定的相对运动的联接称为运动副。如图 2-1 所示,轴承中的滚动体与内、外圈的滚道(图 2-1 a),啮合中的一对齿廓(图 2-1 b),滑块与导槽(图 2-1 c)之间均保持直接接触,并能产生一定的相对运动,它们都构成了运动副。构件上参与接触的点(图 2-1 a)、线(图 2-1 b)、面(图 2-1 c)称为运动副元素。

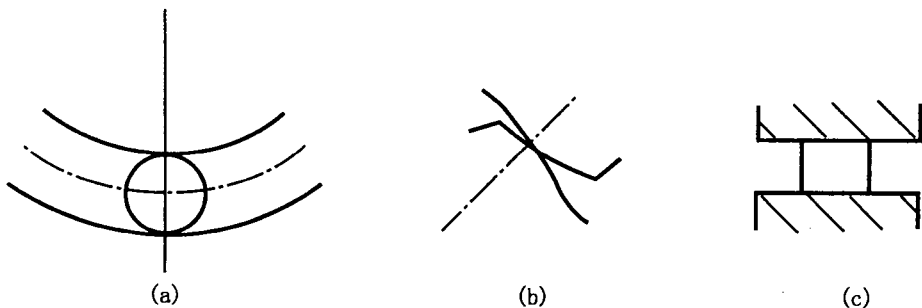


图 2-1 运动副的形式

根据运动副各构件之间的相对运动是平面运动还是空间运动,可分成平面运动副和空间运动副。所有构件都只能在相互平行的平面上运动的机构称为平面机构。由于大多数的常用机构都是平面机构,所以本书仅讨论平面运动副和平面机构。

2.1.2 自由度和运动副约束

两个构件通过运动副联接以后,相对运动受到限制。下面讨论运动与限制之间的关系。

一个作平面运动的构件有三个独立运动的参数:沿 x 轴的移动、沿 y 轴的移动和绕垂直于 xOy 平面的轴转动。可用三个独立的参数来描述: x 、 y 、 α (图 2-2)。我们把构件相对参考系具有的独立运动参数的数目称为自由度。运动副对成副的两构件的相对运动所加的限制称为约束。引入一个约束条件将减少一个自由度。

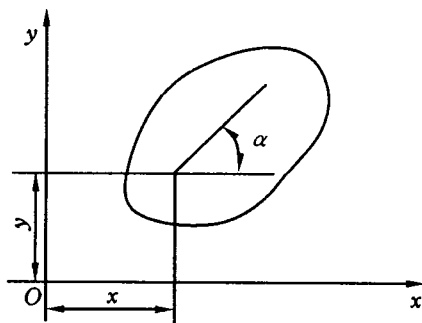


图 2-2 构件的自由度

而约束的多少及约束的特点取决于运动副的形

式。

1) 转动副

如图 2-3 所示的运动副限制了轴颈 2 沿 x 轴和 y 轴的移动, 只允许轴颈绕轴承相对转动, 这种运动副称为转动副。它带入两个约束, 保留了一个自由度。

2) 移动副

如图 2-4 所示的运动副, 构件之间只能沿 x 轴相对移动。这种沿一个方向相对移动的运动副称为移动副。它也具有两个约束, 保留了一个自由度。

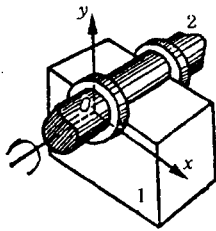


图 2-3 转动副

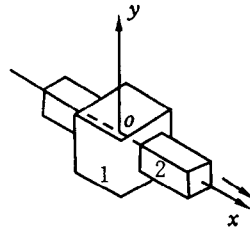


图 2-4 移动副

转动副和移动副都是面接触, 统称为低副。

3) 平面高副

如图 2-5 所示的曲线构成的运动副中, 构件 2 相对构件 1 既可沿接触点处切线 $t-t$ 方向移动, 又可绕接触点 A 转动。它保留了两个自由度, 带进了一个约束。这种点或线接触的运动副称为高副。

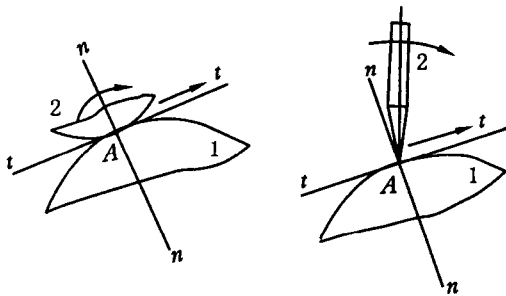


图 2-5 平面高副

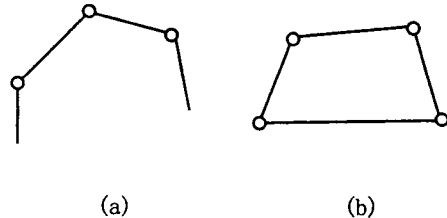


图 2-6 运动链

2.1.3 运动链和机构

两个以上的构件以运动副联接而成的系统称为运动链。运动链未构成首末封闭环的称为开链(图 2-6 a), 否则称为闭链(图 2-6 b)。在运动链中, 选取一个构件加以固定(称为机架), 此运动链便成为机构。机构中输入运动的构件叫主动件, 其余的可动构件称为从动件。由此可见, 机构由主动件、从动件和机架三部分组成。

2.2 平面机构运动简图

在构思新机械的运动方案以及对组成机械的各类机构进行运动和动力分析时,都不需要了解机构的真实外形和具体结构,只需要用简单的线条和符号画出简明的图形即可。这种按规定的简化画法表示构件和运动副的工程图形叫机构运动简图。简图中应包括下列信息:

- (1) 构件数目;
- (2) 运动副的数目和类型;
- (3) 构件之间的联接关系;
- (4) 与运动变换相关的构件尺寸参数;
- (5) 主动件及其运动特性。

2.2.1 运动副及构件的表示方法

1) 构件

构件均用直线或小方块来表示,画有斜线的表示机架。

2) 转动副

两构件组成转动副时,其表示方法如图 2-7 所示。图面垂直于回转轴线时用图 2-7 a 表示;图面不垂直于回转轴线时用图 2-7 b 表示。表示转动副的圆圈,其圆心必须与回转轴线重合。一个构件具有多个转动副的,则应在两线条交接处涂黑,或在其内画上斜线,如图 2-7 c 所示。

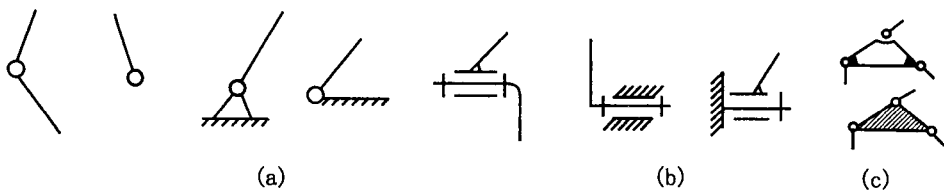


图 2-7 转动副表示方法

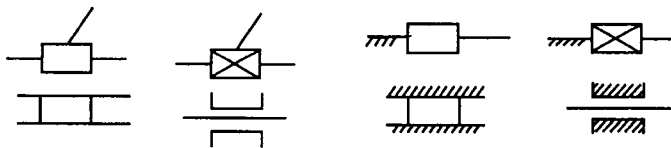


图 2-8 移动副表示方法

3) 移动副

两构件组成移动副时,其表示方法如图 2-8 所示。其导路必须与相对移动方向一致。

如图 2-9 a 所示机构,可用图 2-9 b、c、d、e 中任一种表示,但不能用图 2-9 f 表示。

4) 凸轮、齿轮及其他机构表示方法

如图 2-10 所示。

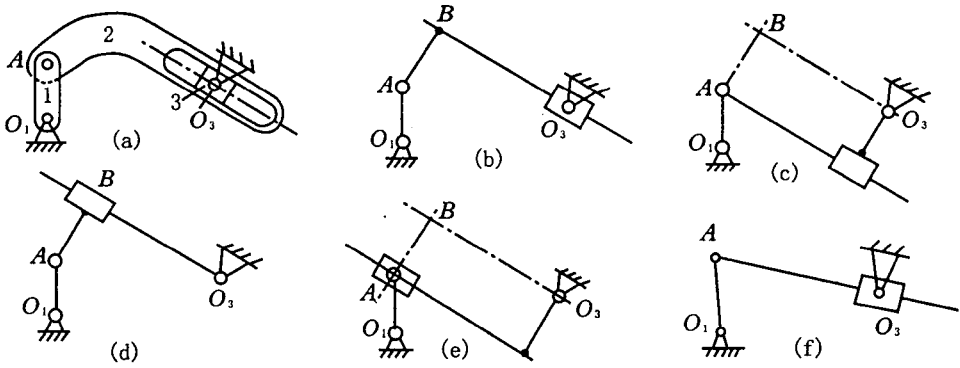


图 2-9 同一机构的不同表示形式

凸轮机构	棘轮机构		带传动
外齿轮	内齿轮	圆锥齿轮	蜗杆蜗轮

图 2-10 其他机构表示方法

2.2.2 机构运动简图绘制步骤

- (1) 认真研究机构的结构及动作原理,分清固定件(机架),确定原动件。
- (2) 循着运动传递的路线,搞清各构件相对运动的性质,确定运动副种类。
- (3) 测量出运动副的位置。
- (4) 选择视图平面、比例尺,用规定的符号和线条绘制机构运动简图。

例 2-1 试绘制图 1-1 所示的内燃机的机构运动简图。

解:从图中可知,壳体及气缸体 1 是机架,缸内活塞是主动件。活塞 2 与连杆相对转动,构成转动副;运动通过连杆 5 传给曲轴 6,连杆与曲轴是转动副联接;曲轴将运动通过与之联在一起的小齿轮 10 传给大齿轮 9;大、小齿轮与机架是转动副联接;大齿轮与凸轮 7 是同轴,凸轮通过滚子将运动传给顶杆 8;大、小齿轮及凸轮与滚子都是高副联接;滚子与顶杆是转动